



TITLE:

永久磁石を用いたクライストロン
ビーム集束システムの性能評価(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

不破, 康裕

CITATION:

不破, 康裕. 永久磁石を用いたクライストロンビーム集束システムの性能評価. 京都大学, 2018, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20910>

RIGHT:

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	不破 康裕
論文題目	Evaluation of a klystron beam focusing system with permanent magnet 永久磁石を用いたクライストロンビーム集束システムの性能評価		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>序論で次世代電子・陽電子衝突型加速器の ILC (International Linear Collider) において提案されている高周波電源システムについてその故障率の低減と消費電力の抑制の必要性を述べて研究背景を説明し、研究開発の研究目的を示している。</p> <p>まずクライストロンの原理およびクライストロン内部の大電流電子ビームを磁場により集束して輸送する場合の物理を論じ、必要な磁場を発生するための磁気回路の基本構成について述べ、永久磁石を用いたクライストロンビーム集束システムについての先行研究に触れ、普及を見据えた場合の集束システム開発の課題を抽出している。</p> <p>そこで新たなビーム集束システム処方提唱し、その機能的特徴を解説している。そして、それを具備した集束システムを安価で量産可能な異方性フェライトを用いて実現するプロトタイプの磁気回路の設計過程について説明を行っている。</p> <p>次の第4章では、前章で設計した磁気回路をもとに、実際にクライストロンを実装して試運転が可能なプロトタイプを製作した過程を記述している。特に、この研究で考案した集束システムの最大の特徴である磁石の可動機構を安価に実現するための機械的な構造を中心的に議論している。</p> <p>第5章では、製作されたプロトタイプの性能を評価するために実施された磁場分布の測定と、実際にクライストロンをインストールして行ったクライストロンの出力試験について記述している。結果として、製作したプロトタイプがクライストロンビームの集束に十分な磁場を発生可能であり、クライストロンの出力も要求性能を十分に満たしていることを確認した。また、クライストロン内部の電力変換効率自体は電磁石を用いた場合と比較して、このプロトタイプ機では10%程度劣るものの、集束コイル内部のジュール損失を加味した総合的な効率を考えた場合には、すでに電磁石を用いた場合を上回る効率が得られている。</p> <p>第6章で、実験の結果明らかとなったクライストロン内部の電力変換効率の低下の原因を探るために三次元シミュレーションコードなどを用い、数値計算により解析している。この解析において、特に多極磁場成分がビームに与える影響が、最終的にクライストロンの出力にどのように影響するかというメカニズムをシミュレーション結果に基づき明らかにしている。また、磁場測定結果から出力特性を推定する際に、コストの掛かる大規模計算を分析の初期段階では簡略化した計算で済ますことも提案している。</p> <p>第7章では、出力を低下させる原因となっている多極磁場成分を抑制するための方法を論じており、有効な抑制法の1つとして異方性磁気回路構造を持った磁気フィルターを提案し、数値計算により効果の確認を行い、第8章で結論として本研究で得られた結果を要約し、将来の展開への展望を述べている。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

不破康裕君は加速器において大電力高周波源として現在欠かせないクライストロンのビーム集束用電磁石を永久磁石に置き換える事による高信頼性化を目指した研究を行い、新機軸を投入してプロトタイプを設計、製作し、大電力テストを行って、その有効性を実証した。これにより、高信頼化と高効率化及び省電力化、低コスト化も目指すことができる。

加速器では一般に高周波電場を使って荷電粒子を加速する。高電場発生のための数MW以上の大電力発生には、現状クライストロンという電子管が通常使われる。加速器システムの可用性向上、省エネ化にはクライストロンシステム自身のそれが大きな比率を占める。クライストロンでは大電力直流ビームに投入空洞でエネルギー変調を掛けたあとビームを輸送させる事により密度変調に変換させ、出力空洞で高周波電力として取り出す。大電力直流ビームを損失無く輸送させるためのクライストロンのビーム集束システムにおいて、電磁石の代わりに永久磁石を用いれば、電磁石への電力とそれを供給する電源、給電のための太い電力ケーブルとその敷設が不要になり、さらには電磁石を冷却する冷却水が不要になる。これにより、高信頼化と高効率化及び省電力化、低コスト化も目指すことができる。

永久磁石を用いたクライストロンのビーム集束システムは先行研究はあるものの、現時点で普及しているとは言いがたい。普及していない現実からその課題を抽出し、新規磁石材料と磁石配置の新たな工夫により再び永久磁石によるビーム集束システムの実現に光をあてるべく設計と試作を行い、大電力での実テストを行った。その結果、今回の永久磁石による処方システムが電磁石と比べてほぼ遜色ない性能を発揮し、有望な方式であることを実証した。

また、電磁石によるものとの出力特性の相違を大規模な三次元シミュレーション計算を駆使してその原因を分析して解明し、比較的取り扱いやすいグローバルカップリングファクターを使って説明することに成功している。また、その前駆段階で簡略化した計算による省力化できることも示している。さらには、その原因となる多極磁場の低減について新たな手法の提案を行っている。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降